

TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo University of Marine Science and Technology (東京海洋大学)

# 災害直後の支援物資供給に対する事前巡回路方策

|        |   |
|--------|---|
| 著者     | 張 成程  |
| 学位名    | 修士（工学）  |
| 学位授与機関 | 東京海洋大学  |
| 学位授与年度 | 2017  |
| URL    | <a href="http://id.nii.ac.jp/1342/00001559/">http://id.nii.ac.jp/1342/00001559/</a> |

修士学位論文

災害直後の支援物資供給に対する事前巡回  
路方策

平成 29 年 度

(2018 年 3 月)

東京海洋大学大学院  
海洋科学技術研究科  
海運ロジスティクス専攻

張 成程

# 目次

|       |                                     |    |
|-------|-------------------------------------|----|
| 第1章   | はじめに .....                          | 2  |
| 1.1   | 研究の背景と目的 .....                      | 2  |
| 1.2   | 論文構成 .....                          | 3  |
| 第2章   | 先行研究 .....                          | 4  |
| 第3章   | 事前巡回路方策 .....                       | 6  |
| 3.1   | 事前巡回路方策の概要 .....                    | 6  |
| 3.2   | 情報管理 .....                          | 7  |
| 3.3   | 配送方式 .....                          | 8  |
| 3.3.1 | ルート先・クラスター後法とは .....                | 8  |
| 3.3.2 | 満載出発方式（go when full policy）とは ..... | 9  |
| 第4章   | 実験 .....                            | 10 |
| 4.1   | METRO について .....                    | 10 |
| 4.1.1 | METRO とは .....                      | 10 |
| 4.1.2 | METRO の使用条件 .....                   | 10 |
| 4.2   | データについて .....                       | 10 |
| 4.3   | 実験の結果 1 .....                       | 12 |
| 4.4   | 実験の結果 2 .....                       | 17 |
| 第5章   | おわりに .....                          | 23 |
| 5.1   | 結論 .....                            | 23 |
| 5.2   | 今後の課題 .....                         | 23 |
|       | 謝辞 .....                            | 24 |
|       | 参考文献 .....                          | 25 |

# 第 1 章 はじめに

## 1.1 研究の背景と目的

近年、大規模な自然災害が際立っている。2011 年の東日本大震災及び 2016 年の熊本地震をはじめとして、強台風や大雨とそれらに伴った洪水や土砂災害、火山活動など様々な災害が頻発しているが、災害の対応において十分な支援物資をいき届かない避難所が結構あるという問題は発生する。熊本地震を例として、熊本地震で県庁や市役所の集積所には、被災地外からの支援物資があふれていたが、被災者がいる避難所には支援物資が届かず、SOS を発信する避難所が埋まれてしまっていた。

その状況が発生してしまう原因として、被災地内での配送能力が不足していることが挙げられる。支援物資の郵送フローは「被災地外の供給地点 => 物資集積拠点 => 被災地内の都道府県の集積所 => 各市区町村の集積所 => 避難所」という通常の段階であり、国の依頼を受けた輸送業者は被災した都道府県の集積所までの輸送を行い、都道府県の依頼を受けた輸送業者は各市区町村までの輸送を行う。末端の避難所への配送は各市区町村に委ねられているが、被災した市区町村にその能力を求めることは難しい。輸配送能力の差から、中継地点となる集積所などに物資がたまってしまう。

避難所の情報が不足はもう一つの原因である。具体的にどの避難所に避難者が何人いるか、避難所の位置がどこにあるかという情報を被災発生直後にすべて把握して共有することは難しい。避難所への配送の際に、配送経路や位置などの情報などは中継地点に必要となる。

久保らが災害発生直後の支援物資供給システムが満たすべき原則を示している[1]。本研究にかかわる内容を以下に示す。

●災害発生直後の被災地は電子機器やインターネットが使えないことを前提とすべきである。電子機器やインターネットを使うことなく、効率的な物流を行う必要がある。

●災害発生後に配送と同時に情報収集し、被災地内で自立的に効率化を図ることが必要である。

本研究では、上記の原則に基づき、避難所の情報と事前巡回路を組み合わせた情報の取り扱いや配送方法という事前順回路方策を提案する。

## 1.2 論文構成

本論文の構成は以下の通りである.

- 第2 章では, 先行研究を紹介する.
- 第3 章では, 事前巡回路方策について述べる.
- 第4 章では, 実験の内容と結果について説明する.
- 第5 章では, 結論と今後の課題について述べる.

## 第2章 先行研究

John J. Bartholdi, III らは, “Meals on Wheels” と呼ばれる, 自分で食事を用意できない支援が必要な家へ食事を配送するサービスに対し, 空間重点曲線を用いて生成した巡回回路での配送を提案している [2, 3, 4]. 空間重点曲線とは, 値域が2次元の単位正方形全体を含む曲線である.

シェルピンスキー曲線は単位正方形を二等辺三角形に8分割した区間を全て通る曲線である (図 2.1 参照). その形を極限まで繰り返すことで, 単位正方形は埋めつくされる.

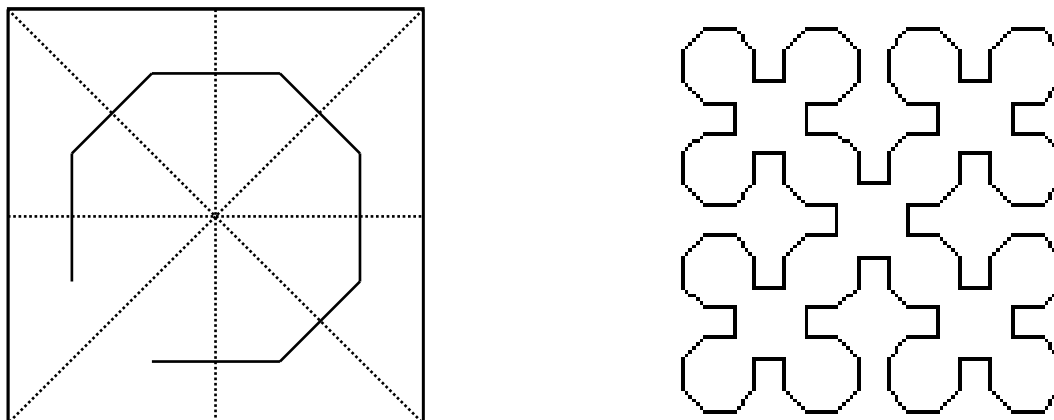


図2.1: シェルピンスキー曲線

地図上にシェルピンスキー曲線を置くと, その曲線上にない配送先も近似して曲線上にプロットすることができる. 曲線上にプロットされた点は, 二次元  $([0,1] \times [0,1])$  の  $x, y$  座標を一次元  $([0,1])$   $\theta$  に写像する. この  $\theta$  順に配送先を結び巡回路を生成する (図2.2, 2.3 参照).

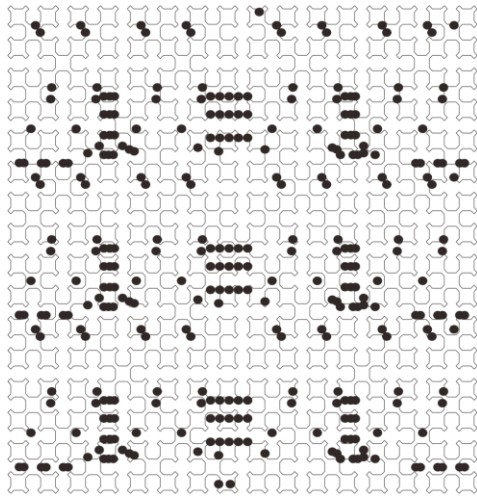


図2.2: シェルピンスキー曲線へのプロット

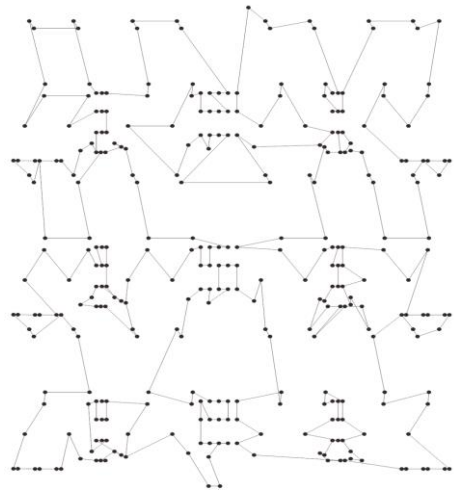


図2.3: 巡回路の生成

こうして生成した巡回路は巡回セールスマン問題の最適解に対し、計算時間は $O(n \log n)$ である。また、配送先の情報は、生成した巡回路（ $\theta$ ）の順にローロデックスボックスに保管する（図2.4 参照）。



図2.4: ローロデックスボックス

ローロデックスボックスは回転式のカードケースで、情報の追加や変更、削除などを容易に行うことができる。

## 第 3 章 事前巡回路方策

### 3.1 事前巡回路方策の概要

先行研究に基づいて、事前巡回路方策を避難所の巡回セールスマン問題に適用させる。事前に解いておく大きな問題の対象は、日本中にある避難所の候補に対しての巡回路となる。避難所の位置については事前に全て把握しておくことが好ましい。しかし、災害時には予期していない場所に被災者が避難することも考慮し、人口に対して避難所が少ない地域には候補点を増やす必要がある。巡回路の生成は、各区分の東端、北端などの避難所を巡回路の出発地点とした巡回セールスマン問題の近似解を求める（図 3.1）。

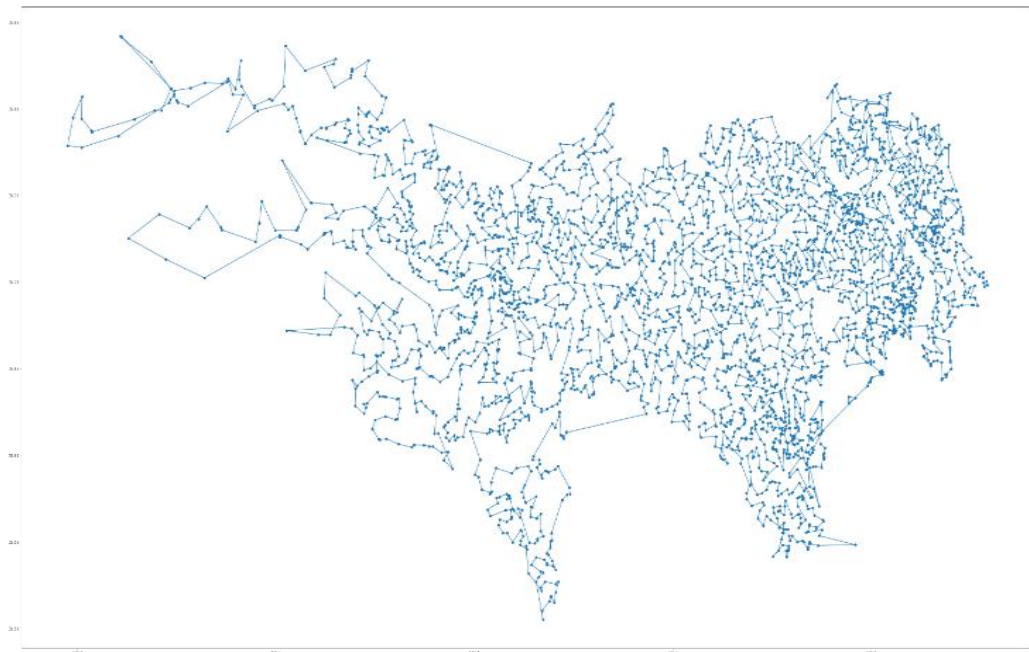


図 3.1 東京の事前巡回路の例

東京の事前巡回路を生成する際に使用したデータは、国土数値情報の避難施設データを使用した[5]。このデータには、一時避難場所や広域避難場所なども含まれている。各避難所間の距離計算はOSRM(Open Source Routing Machine)を用いた[6]。東端を巡回路の出発地点としている。最近傍法で初期解を生成し、局所探索法の2-opt法で改善を行った。



## 3.2 情報管理

巡回路を生成した後、それぞれの避難所の候補に巡回路の番号を与える。事前巡回路を生成した際に避難所の候補地点を増やす場合もあるが、番号を振る際に10 倍の数を与える。そうすることにより、予期しない避難所が発生した際、巡回路の間に加えることが出来るようにする。そして、この番号の順に情報を保管しておく。災害発生時、被災地内では電子機器類の使用ができないことを前提に考える必要があるため、情報はカードに保管する（図3.2）。

|                          |   |
|--------------------------|---|
| <b>3 6 1 5 0</b>         |   |
| ・ 事前巡回路による番号 : 3 6 1 5 0 |  |
| ・ 豊洲図書館有明スポーツセンター        |   |
| ・ 日本東京都江東区有明 2 - 3 - 5   |   |
| ・ 緯度 : 35.63318          |   |
| ・ 経度 : 139.78382         |   |
| ・ 収容人数 : 1300 人          |   |
| <b>MEMO</b>              |   |

図 3.2 カードの例

このカードの情報は事前巡回路の番号、名称、住所、座標、収容人数、周辺経路が分かる地図、書き込みができるメモ欄などを記載する。これらのカードは、各市区町村の役場など集積所の候補となるような施設に、地域ごとに必要な部分に分けて保管する。保管は、ローロデックスボックスのように、情報の取り扱いが容易であるものを使用する（図3.3）。



図3.3 ローロデックスボックス

実際の災害発生時には、初回の配送は避難所の情報を収集する必要がある。そのため、避難所の収容人数に対し最低限必要な物資を積み込み、全ての避難所へ配送を行う。そして、避難所が使用されていない、避難所へ向かう道が通れないといった情報を収集する。集めた情報をもとに、カードの束から抜き取り、カードに書き込むといった方法で巡回路を更新することが想定される。

### 3.3 配送方式

事前巡回路を用いた物資の配送と集積所からの発送には、ルート先・クラスター後法（route-first cluster-second method）での配送と満載出発方式（go when full policy）での配送を組み合わせる。

#### 3.3.1 ルート先・クラスター後法とは

ルート先・クラスター後法は配送計画問題に対する近似解法の1つである。収容人数の情報をもとに、おおよそ必要な物資の量は把握できるため、配送に使われるトラックの容量が一杯になるように避難所のカードの束を分けておく。事前巡回路を分けたカードの束ごとに分割し、集積所とそれぞれのクラスターを結ぶことで配送経路を決定する。巡回路を先に求め（ルート先）（図3.4）、配送先を分割し（クラスター後）（図3.5）、配送経路を決定する。

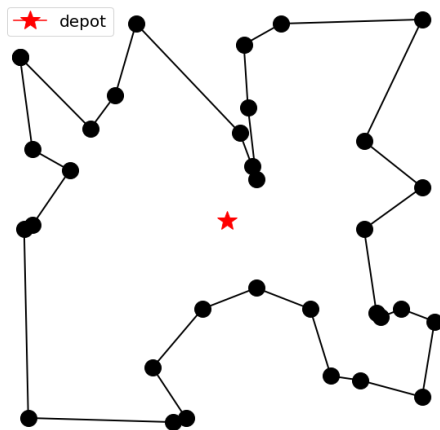


図 3.4 巡回路の生成 (ルート先)

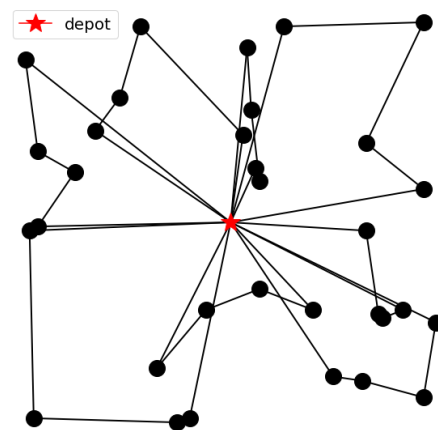


図 3.5 配送先の分割 (クラスター後)

### 3.3.2 満載出発方式 (go when full policy) とは

満載出発方式はトラックの容量が一杯になった時点で物資を発送する。この方式はルート先・クラスター後法での配送と相性が良い。なぜなら、事前巡回路の順で分けたカードの束ごとに待機しているトラックへの積み込みを行うことで、自然にクラスターの形成を行えるためである。積みこみが完了し次第、ドライバーは積みこんだ分のカードを持って各避難所へ配送に向かう。事前巡回路による番号が近い点は近所にあるので、番号がとんでいても番号順に配送することで、効率的な配送を行うことができる。

## 第 4 章 実験

### 4.1 METRO について

#### 4.1.1 METRO とは

事前巡回路方策、空間充填曲線法を用いた配送と METRO を用いた配送を比較し、事前巡回路戦略の有効性を検証する。

METRO (Meta Truck Routing Optimizer:メトロ)とは、配送計画の意思決定を支援するための最適化システムである。

#### 4.1.2 METRO の使用条件

METRO を使用する際、以下の条件を満たさなければならない。

- デポは 1 つ。本研究は各区市の役場をデポにする。

- すべてのトラックはデポから出発する。

- 全ての配送先にトラックが立ち寄るのは 1 度きり。

- トラックの容量より大きな需要を持つ配送先は存在しない。実際に災害発生の時支援物資は一人当たり一日で 4KG を考えているが、本研究はトラックの容量より大きな需要の避難所が存在しないように収容人数が 1 番大きい避難所の需要をトラック一台分と仮定する。

- トラックの台数は容量を満たす最適な台数として、且つ事前に与える。

- 各地点間の移動費用(距離)は事前に与える。

### 4.2 データについて

本研究は使用したデータは、国土数値情報の避難施設データを使用した。実験の比較対象は東京都の 26 区市と熊本県の 23 市郡を行った。それぞれのデータには大きな収容人数の臨時難場所(例：品川区の大井競馬場、しながわ区民公園という避難所の収容人数は 105400 人)が含まれている。データを処理する際は、そういった屋外の臨時避難場所を除くため「公園、広場、グラウンド」といった名称が含まれているデータは除いた。また各区市役所をデポとして、その座標をデータに入れた。

また、トラックの容量は一台当たり 4000kg とする。トラックの容量より大きな需要の避難所が存在しないように、収容人数が各区市の 1 番大きい避難所の需要をトラック一台分 (4000kg) と仮定する。つまり各区市の最大収容人数の避難所の需要は 4000kg である。平均需要量は 4000kg と最大収容人数の商 (4000kg/各区市の最大収容人数)

となる。各避難所の需要量は各避難所の収容人数と平均需要量の積となる。下表は各区市の総需要量である（表 4.1 表 4.2）。

表 4.1 東京各区市の総需要量

| 区市    | 施設数 | 収容人数   | 需要量    |
|-------|-----|--------|--------|
| 江東区   | 185 | 143130 | 257892 |
| 足立区   | 174 | 168476 | 204213 |
| 練馬区   | 132 | 62717  | 396943 |
| 港区    | 59  | 61165  | 54893  |
| 中央区   | 38  | 36030  | 60555  |
| 葛飾区   | 180 | 123487 | 127635 |
| 江戸川区  | 163 | 281829 | 235791 |
| 品川区   | 124 | 91092  | 116560 |
| 荒川区   | 92  | 59893  | 80124  |
| 大田区   | 114 | 152140 | 243619 |
| 新宿区   | 107 | 96670  | 228534 |
| 文京区   | 66  | 62713  | 156107 |
| 千代田区  | 21  | 19395  | 43732  |
| 北区    | 56  | 118383 | 121263 |
| 目黒区   | 81  | 79267  | 159171 |
| 中野区   | 52  | 221600 | 61986  |
| 世田谷区  | 188 | 375641 | 376205 |
| 渋谷区   | 40  | 83675  | 86218  |
| 杉並区   | 113 | 152035 | 132204 |
| 墨田区   | 50  | 63275  | 103645 |
| 台東区   | 50  | 63273  | 102466 |
| 豊島区   | 43  | 88709  | 89900  |
| 板橋区   | 107 | 151401 | 126988 |
| 調布市   | 50  | 39973  | 60337  |
| あきる野市 | 34  | 15561  | 18625  |
| 羽村市   | 18  | 39597  | 29583  |

表 4.2 熊本県各市郡の総需要量

| 市郡   | 施設数 | 収容人数   | 需要量    |
|------|-----|--------|--------|
| 阿蘇市  | 41  | 26412  | 94497  |
| 合志市  | 23  | 19096  | 39721  |
| 菊池市  | 49  | 46861  | 95928  |
| 熊本市  | 254 | 251965 | 506939 |
| 玉名市  | 74  | 59106  | 148508 |
| 宇城市  | 7   | 10810  | 19504  |
| 宇土市  | 69  | 24289  | 57831  |
| 八代市  | 147 | 61493  | 81991  |
| 上天草市 | 47  | 28785  | 83799  |
| 荒尾市  | 29  | 12260  | 53600  |
| 水俣市  | 72  | 7620   | 30348  |
| 山鹿市  | 55  | 20687  | 69623  |
| 天草市  | 264 | 56930  | 201100 |
| 人吉市  | 116 | 47552  | 189261 |
| 八代郡  | 11  | 4508   | 17962  |
| 天草郡  | 35  | 9361   | 37278  |
| 球磨郡  | 136 | 30238  | 120370 |
| 葦北郡  | 57  | 14450  | 57532  |
| 阿蘇郡  | 185 | 55304  | 220135 |
| 玉名郡  | 68  | 19178  | 30685  |
| 菊池郡  | 35  | 24434  | 56267  |
| 下益城郡 | 9   | 4699   | 18722  |
| 上益城郡 | 184 | 89942  | 357998 |

### 4.3 実験の結果 1

東京のデータをまとめると、事前巡回路方策、空間充填曲線法、METRO 三つの方法による各区市の配送経路を生成し、各区市の配送経路の総距離(費用)が計算できる。表 4.3 は東京の 26 区市の配送経路の総距離(費用)を表している。図 4.1 はその結果の棒グラフである。

表 4.3 三種類の総距離

| 区市    | 事前巡回路(m) | METRO(m) | 空間充填曲線(m) |
|-------|----------|----------|-----------|
| 江東区   | 592463   | 545848   | 597234    |
| 足立区   | 616644   | 514009   | 587118    |
| 練馬区   | 1172561  | 976994   | 1173449   |
| 港区    | 157541   | 120020   | 150173    |
| 中央区   | 95565    | 82503    | 97708     |
| 葛飾区   | 368996   | 364135   | 367235    |
| 江戸川区  | 749134   | 671051   | 747392    |
| 品川区   | 216910   | 190213   | 222618    |
| 荒川区   | 129806   | 103898   | 127813    |
| 大田区   | 583281   | 512096   | 579187    |
| 新宿区   | 457713   | 386560   | 441673    |
| 文京区   | 172482   | 164940   | 183163    |
| 千代田区  | 63351    | 52908    | 57200     |
| 北区    | 221862   | 199095   | 222903    |
| 目黒区   | 278924   | 271146   | 297559    |
| 中野区   | 142187   | 104911   | 131118    |
| 世田谷区  | 1128063  | 987490   | 1143596   |
| 渋谷区   | 176646   | 159691   | 178856    |
| 杉並区   | 317480   | 295662   | 329589    |
| 墨田区   | 203569   | 194190   | 202449    |
| 台東区   | 140039   | 124636   | 149396    |
| 豊島区   | 179473   | 168954   | 185683    |
| 板橋区   | 451474   | 398958   | 437688    |
| 調布市   | 125980   | 105471   | 123817    |
| あきる野市 | 124201   | 86910    | 134665    |
| 羽村市   | 40345    | 38398    | 41452     |

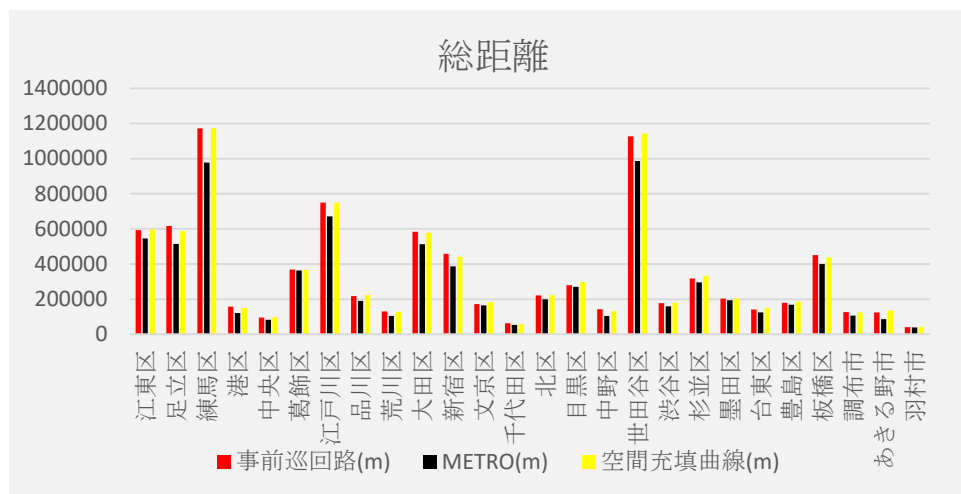


図 4.1 三種類の手法の総距離

事前巡回路方策、空間充填曲線法、METRO の三つの方法が決めた配送経路を初回配送完成する。表 4.4 はそれぞれ使用したトラック台数を表している。図 4.2 はその結果の棒グラフである。



表 4.4 三種類のトラック台数

| 区市    | 事前巡回路 | METRO | 空間充填曲線 |
|-------|-------|-------|--------|
| 江東区   | 88    | 65    | 88     |
| 足立区   | 62    | 53    | 60     |
| 練馬区   | 124   | 101   | 125    |
| 港区    | 17    | 14    | 18     |
| 中央区   | 20    | 17    | 20     |
| 葛飾区   | 39    | 32    | 41     |
| 江戸川区  | 86    | 64    | 83     |
| 品川区   | 36    | 30    | 36     |
| 荒川区   | 25    | 21    | 25     |
| 大田区   | 82    | 65    | 82     |
| 新宿区   | 78    | 59    | 76     |
| 文京区   | 42    | 40    | 44     |
| 千代田区  | 15    | 13    | 13     |
| 北区    | 40    | 32    | 39     |
| 目黒区   | 52    | 41    | 54     |
| 中野区   | 19    | 16    | 18     |
| 世田谷区  | 125   | 99    | 127    |
| 渋谷区   | 27    | 24    | 29     |
| 杉並区   | 40    | 34    | 41     |
| 墨田区   | 38    | 31    | 38     |
| 台東区   | 34    | 28    | 35     |
| 豊島区   | 29    | 24    | 31     |
| 板橋区   | 41    | 32    | 39     |
| 調布市   | 19    | 16    | 19     |
| あきる野市 | 6     | 5     | 7      |
| 羽村市   | 10    | 10    | 10     |

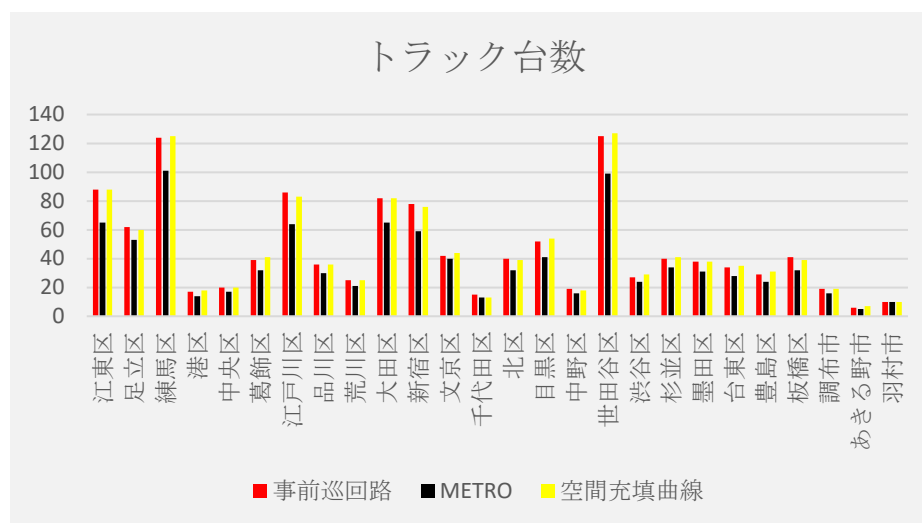


図 4.2 三種類の手法のトラック台数

以上の結果を見ると、やはり METRO(配送計画最適化ソルバー)の実験の結果が良い解を得た。事前巡回路方策と空間充填曲線法の実験結果を比較すると、事前巡回路方策の方が良い場合(練馬区)や空間充填曲線法の方が場合(足立区)があった。既存の実験結果から判断すると、事前巡回路方策と空間充填曲線法に優劣がないことがわかった。

以下の図では、METRO で解いた解を最適解として、事前巡回路方策と空間充填曲線法で解いた解は METRO の解より、どれ位増やしているかを示す(図 4.3 図 4.4)。

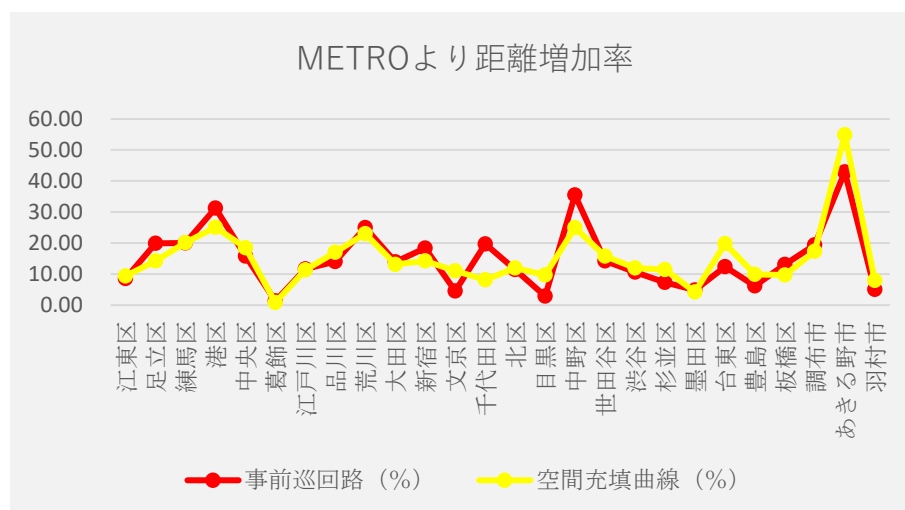


図 4.3 総距離増加率

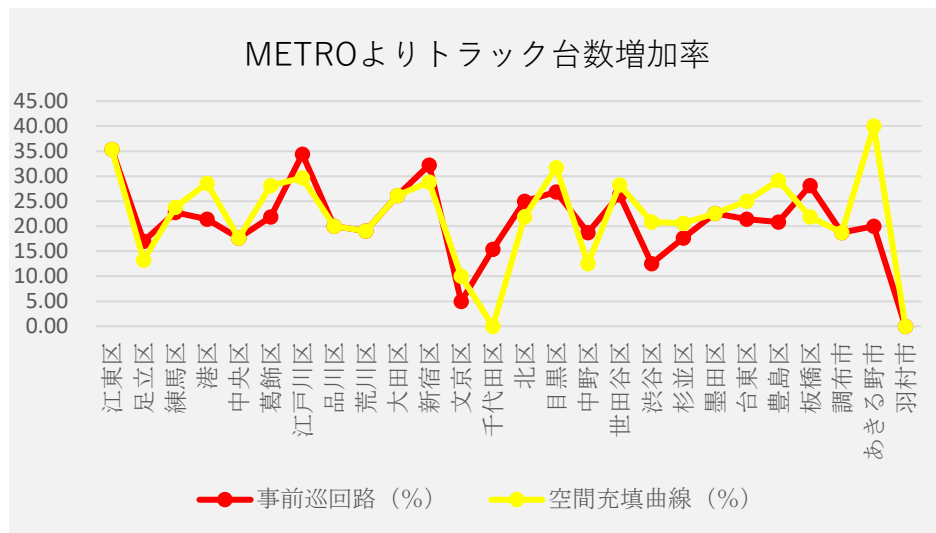


図 4.4 トラック台数増加率

総距離は METRO の解より，事前巡回路方策では，平均で 15.01%増加しており，空間充填曲線法の場合も 15.23%増加しており．トラック台数のほうは METRO の解より，事前巡回路方策が平均で 21.04%増し，空間充填曲線法の場合も 22.06%増加した．

## 4.4 実験の結果 2

熊本県のデータをまとめる．事前巡回路方策、空間充填曲線法、METRO 三つの方法による各市郡の配送経路の総距離(費用)を計算する．表 4.4 は熊本県各市郡の配送経路の総距離(費用)を表している．図 4.5 はその結果の棒グラフである．

表 4.4 三種類の総距離

| 市郡   | 事前巡回路(m) | METRO(m) | 空間充填曲線(m) |
|------|----------|----------|-----------|
| 上益城郡 | 6942294  | 5582450  | 7016356   |
| 阿蘇郡  | 3669311  | 3187831  | 3838173   |
| 球磨郡  | 1756180  | 1471246  | 1903316   |
| 熊本市  | 2515237  | 2221486  | 2526124   |
| 天草市  | 3173737  | 2611150  | 3457020   |
| 阿蘇市  | 634450   | 545726   | 650227    |
| 合志市  | 144674   | 119921   | 132082    |
| 菊池市  | 357084   | 339844   | 385120    |
| 玉名市  | 672952   | 588812   | 674643    |
| 宇城市  | 120053   | 120053   | 120053    |
| 宇土市  | 232297   | 192249   | 261183    |
| 八代市  | 735728   | 587422   | 806948    |
| 上天草市 | 914340   | 822812   | 984652    |
| 荒尾市  | 139271   | 124922   | 157901    |
| 水俣市  | 167252   | 153278   | 201037    |
| 山鹿市  | 373905   | 318297   | 402046    |
| 人吉市  | 599843   | 539023   | 626052    |
| 八代郡  | 40977    | 35085    | 36996     |
| 天草郡  | 167925   | 159894   | 182955    |
| 葦北郡  | 571981   | 489615   | 598214    |
| 玉名郡  | 616839   | 508329   | 638290    |
| 菊池郡  | 238252   | 223695   | 254998    |
| 下益城郡 | 167978   | 130886   | 148019    |

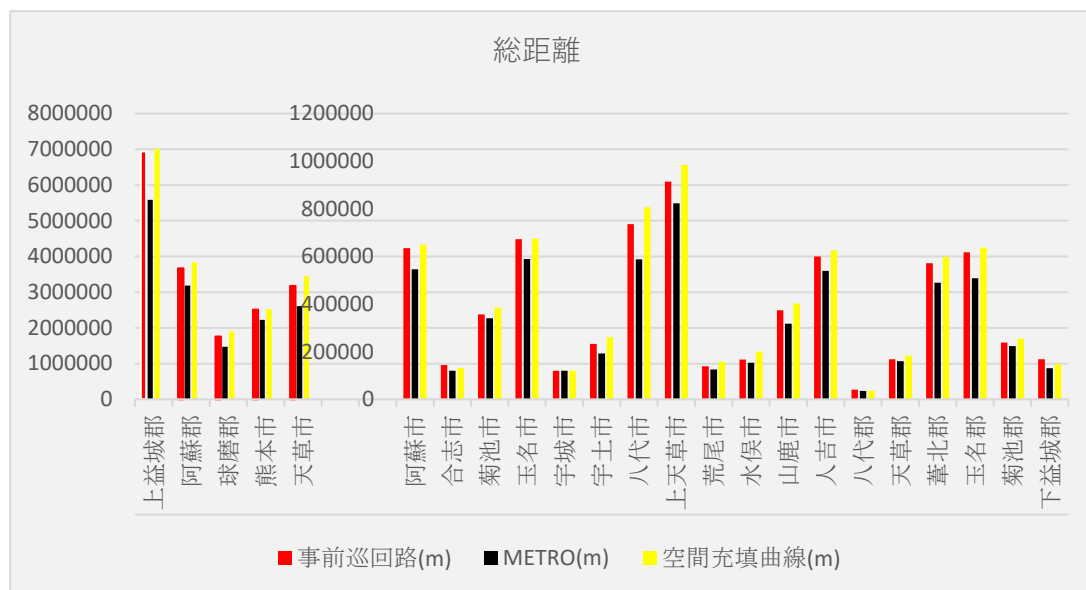


図 4.5 三種類の手法の総距離

事前巡回路方策、空間充填曲線法、METRO の三つの方法が決めた配送経路を初回配送完成する。使用したトラック台数は表 4.5 を表している。図 4.6 はその結果の棒グラフである。

表 4.5 三種類のトラック台数

| 市郡   | 事前巡回路 | METRO | 空間充填曲線 |
|------|-------|-------|--------|
| 阿蘇市  | 32    | 27    | 33     |
| 合志市  | 13    | 11    | 12     |
| 菊池市  | 30    | 25    | 30     |
| 熊本市  | 168   | 135   | 168    |
| 玉名市  | 49    | 40    | 48     |
| 宇城市  | 7     | 7     | 7      |
| 宇土市  | 18    | 15    | 17     |
| 八代市  | 25    | 21    | 25     |
| 上天草市 | 26    | 22    | 27     |
| 荒尾市  | 16    | 14    | 18     |
| 水俣市  | 9     | 8     | 9      |
| 山鹿市  | 23    | 18    | 24     |
| 天草市  | 64    | 51    | 66     |
| 人吉市  | 67    | 51    | 67     |
| 八代郡  | 5     | 5     | 6      |
| 天草郡  | 11    | 10    | 11     |
| 球磨郡  | 36    | 31    | 38     |
| 葦北郡  | 17    | 15    | 17     |
| 阿蘇郡  | 69    | 56    | 70     |
| 玉名郡  | 9     | 8     | 9      |
| 菊池郡  | 18    | 15    | 20     |
| 下益城郡 | 7     | 6     | 6      |
| 上益城郡 | 122   | 93    | 123    |

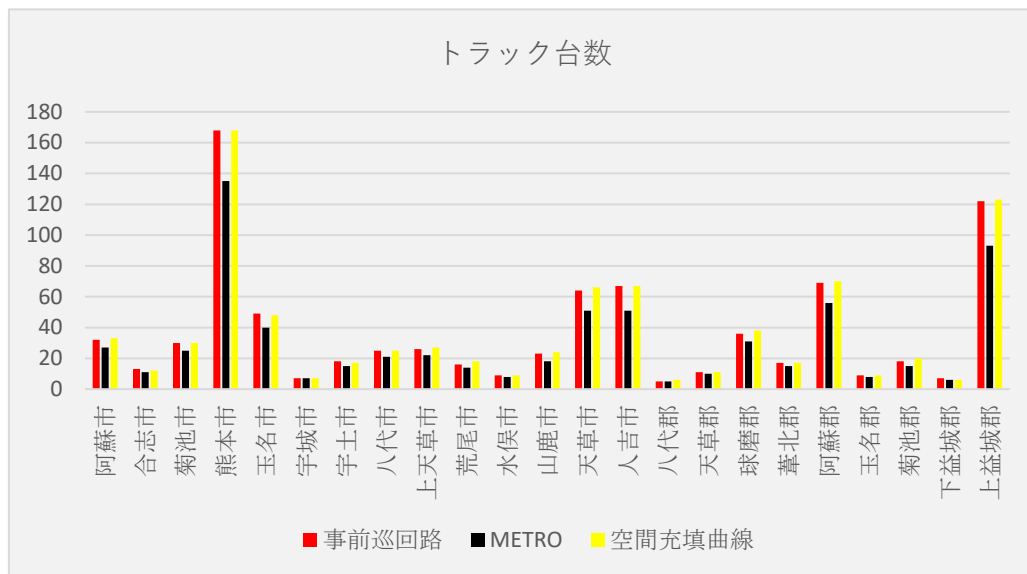


図 4.6 三種類の手法のトラック台数

熊本県の実験結果を見ると、METRO のほうも一番よいのは当然だ。しかも事前巡回路方策と空間充填曲線法の実験結果を比較すると、事前巡回路方策の方が良い場合や空間充填曲線法の方が場合があった。

以下の図は METRO の解（最適化の解）より事前巡回路方策による配送と空間充填曲線法による配送の増加率を表している（図 4.7 図 4.8）。

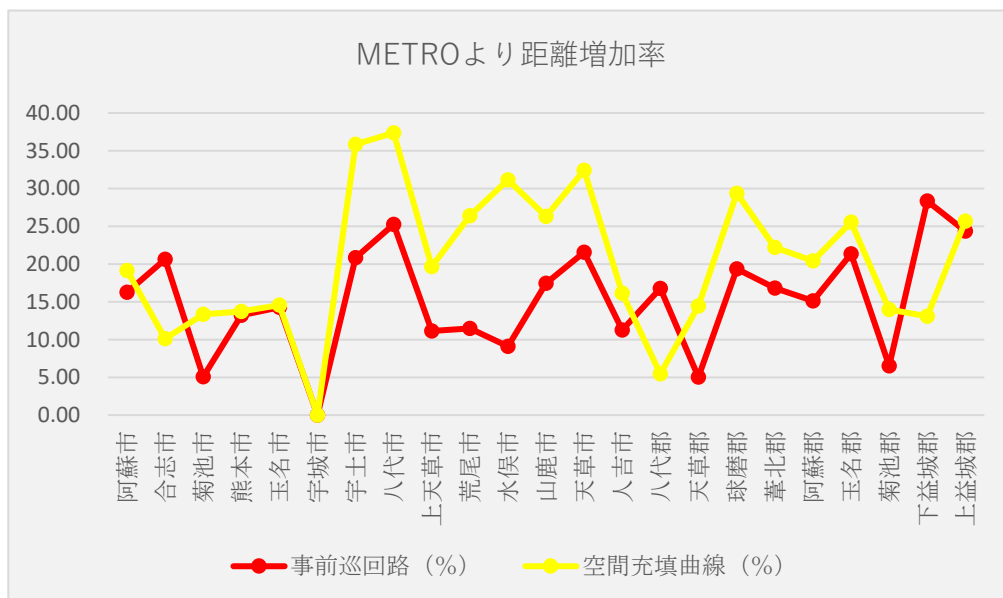


図 4.7 総距離増加率

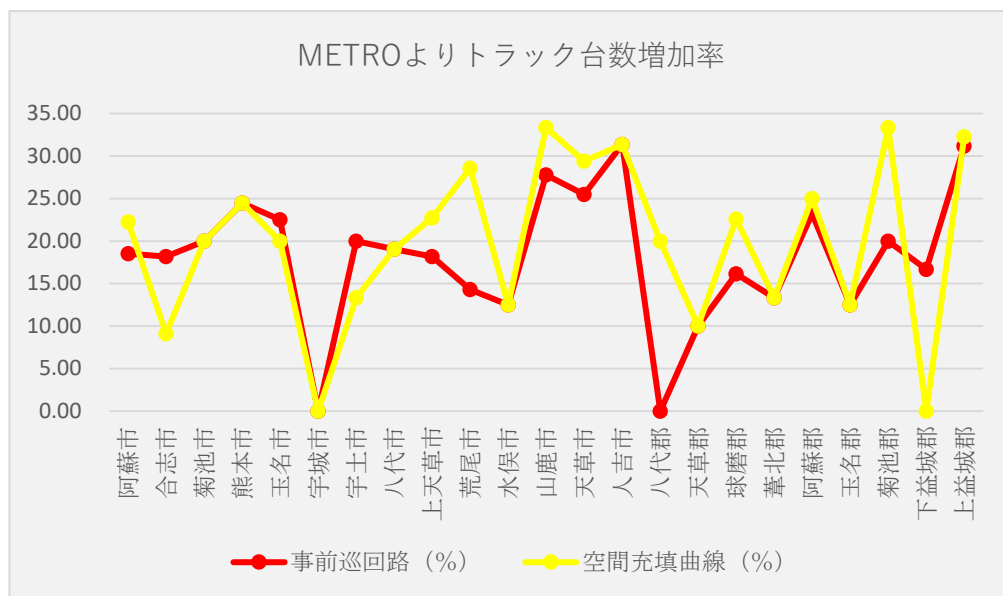


図 4.8 トラック台数増加率

総距離は METRO の解より、事前巡回路方策による配送では、平均で 15.27% 増加しており、空間充填曲線法の場合も 20.28% 増加しており、トラック台数のほうは METRO の解より、事前巡回路方策が平均で 18.06% 増し、空間充填曲線法の場合も 19.79% 増加した。



## 第 5 章 おわりに

### 5.1 結論

本研究では、避難所の情報と事前巡回路を組み合わせた情報の取り扱いや配送方法という事前巡回路方策を提案した。そして事前巡回路方策による配送と先行研究の空間充填曲線法による配送と配送計画最適化ソルバーによる配送、その三種類が比較を行った。実際のデータによる実験結果を考察し、図に表示した。大きな地域の事前巡回路を小規模な配送に用いると大きく悪い解が生じてしまっていた。事前巡回路方策と空間充填曲線法に優劣がないことがわかった。

### 5.2 今後の課題

今後の課題として挙げられるのは以下のとおりである。

1. 大きな地域の事前巡回路を小規模な配送に用いると大きく悪い解が生じてしまっていた、原因としては事前に巡回路の生成方法問題があると考えため、事前巡回路の生成方法を見直し、よりよい事前巡回路を生成する必要と考えている。
2. 地域区分の大きさを再考した実験と本州・九州などのさらに大きな規模の実験が必要と考える。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり，非常に多くの方々に深くご支援をいただきました．特に指導教官である久保幹雄教授には終始丁寧かつ熱心なご指導をいただき，感謝の念に堪えません．また，日常の議論を通じて多くの知識や示唆を頂いた流通設計研究室の皆様にも深く感謝致します．本当に有り難うございました．最後になりましたが，激励をいただいたたくさんの友人，同輩，後輩に感謝の意を表します．

## 参考文献

- [1] 久保幹雄, 橋本英樹, 人道支援ロジスティクス問題点と新たな提案Humanitarian Logistics Problematic Issues and New Proposals, スケジューリング・シンポジウム2016
- [2] John J. Bartholdi, III, Loren K. Platzman, R. Lee Collins, William H. Warden and III, A Minimal Technology Routing System for Meals on Wheels, interfaces, Vol.13, No.3, pp.1-8 (1983)
- [3] John J. Bartholdi, III, Loren K. Platzman, Heuristics Based on Space Filling Curves for Combinatorial Problems in Euclidean Space, Management Science, Vol.34, No.3, pp.291-305 (1988)
- [4] John J. Bartholdi, III, A routing system based on space filling curves, (1995), <http://www2.isye.gatech.edu/~jjb/research/mow/mow.pdf>
- [5] 国土交通省 国土政策局 国土情報課, 国土数値情報 避難施設データ, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P20.html>
- [6] Project OSRM, Open Source Routing Machine, <http://project-osrm.org/>